



## 「神奈川大学に来てよかった」

三相乳化の発想から基礎研究・実用化への路程

田嶋 和夫\*

“Thank Heaven, Kanagawa University where I have been auspiciously”

The starting point of newly-invented technology on three-phase emulsification  
and its development to the industrial applications

Kazuo TAJIMA\*

停年を迎える時になって、急にこれまで長い間無意識に過ごしてきた諸事に思いを新たに感じる様になるのは人の業であろうか。それは「停年」と言う言葉が物理的に人生の転換を求めさせることになるからなのかも知れない。急に身辺整理をしながら、なんとか切り抜けてきた半世紀にもおよぶ過ぎし日をそれこれとなく哀愁の思いに心を浸らせることになる。私は「界面化学」の研究を一途にやってきた。現在、ナノケミストリーとかナノテクノロジーと言われている分野で、言葉や研究系は異なっているけれども自己組織体の形成や現象についての研究対象はほぼ同じである。半世紀も過ぎ、消えかかっている足跡を振り返ってみられるのもこのような執筆の機会を与えて下さったお陰であり、工学研究所所報編集委員会に深く感謝いたします。

人に会い、「もう来春は停年です」というと、よく「まさか」、「ほんとう?」と言われる。私はまだ年甲斐もなく小僧子に見えるからであろうか。それもそのはずである。私がまだ精神的に小僧子で居られるのも、学生時代の直接の恩師が90歳半ばを過ぎてもまだまだ御健勝で矍鑠としておられるからに違いない。私の論文や学会発表などをみて、未だにコメントを頂けるのにはこの上なく光栄であると同時に、学に職を求めた者の責務であり、恒に研究に対する緊張の連続である。この恩師からの言葉として「ゼロオーダーの研究」をやるようにと研究に対して教えられた。研究結果について、「・・・だと仮定すれば」説明ができるというのはまだその研究が足りないからであると教えられた。また、間違え学見違

らは、「教科書に残る研究をやるように」とよく聞かされた。その先輩達は残念ながら若くして他界してしまっている。でも幸いにして、私が行った「界面活性剤の吸着」の研究は今でも界面化学の多くの教科書に取り上げられ、利用されている。

私が一番大きく影響を受けたのは、アメリカ国立衛生研究所 (National Institutes of Health, NIH) に1970年代に2年半程招聘され、また神奈川大学に赴任 (1985年4月) して暫く経った1992年から1年間 (Research Scientist) 長期海外出張として、Prof. Norman Gershefeld の研究室 (Biophysics of Biological Membrane) で過ごしたときである。いろいろな国から研究者が集まってきた。その様な研究室で「独創的な研究」をするためにはどの様にすればよいのかについてよく話し合った。大変気さくな人柄の Norman は「夜空に星座を描く如く、ある現象と別の現象をいかにしたら関連づけられるかだ」と言っていた。この言葉は印象的に心に残った。夜空に輝く一つひとつの星が真夏の蠍座になり、冬のオリオン座となり、一つの組織体として描ける創造力はロマンであり、夢である。模倣や後追いでない、独創的な研究はまさに良く似ている。テレビでプロジェクト X という放送番組があった。その中で、研究開発で行き詰まったときに解決する手口は、発想の転換や別の現象からのヒントや類似性が解決への糸口になったという場面を何度か見たことがあった。正にこれだと思い、大変興味深く感じた。

新規な研究開発が成功するかどうかは研究費や研究施設も大事であるが、それよりもモット大事なのは研究経過や研究結果について忌憚らない論争ができる同僚が居てくれたことである。専門的な観点から互いに、妥協が

\* 教授 化学教室  
Professor, Laboratory of Chemistry

できるまで議論を積み重ねることである。一つの実験結果を解釈するために3~4日も泊まりがけで議論したことがあった。生体膜と同じで、生理的に温和なリン脂質二分子膜で作ったベシクルは安定性がないために、そのままではどうしても実用化することができない。我々はリン脂質ベシクルがどうして長期間安定に保持できないのかということについて、その原因となる新しい現象を発見した。その現象はベシクルの不安定化の説明として認められ、また安定化させる方法も見出している。このように、自由活発に議論し合う研究環境の中から新しい乳化技術の「三相乳化法」を創成させることができた。

牛乳のように油を水に安定に分散させた状態がエマルションである。現在、一般的には油を水に分散させてエマルションにするには石鹸などの界面活性剤を使って作られている。このようなエマルション状態は医薬・農薬の剤形に、また化粧品や各種工業における生産工程などで極めて広範に利用されている。しかし、油と水の界面に界面活性剤の分子がどのように吸着していると安定なエマルション状態になるのかは分子論的にはなかなか解決されていない。その難しさは、例えば液体の界面に存在する単分子状態を観察するにしても現在の科学技術でもまだ大変困難である。私は40年も前に水面や油と水の界面に吸着する界面活性剤分子を直接測定し、理論的解析を行った。しかし、実際のエマルション界面はミクロンやナノサイズであるために今後の更なる研究が必要であろう。

さて、話を三相乳化に戻そう。NIHで生体二分子膜の研究をしているときに、赤血球などの生体粒子は互いに接触をしても、簡単に合一をしないと言う現象に気づき、その不思議さに強く惹かれた。最近ではよくテレビで「あなたの血液はドロドロですね」として目にする現象である。ドロドロになった赤血球はまたすぐにバラバラになり、初めのような1ッコ1ッコの粒子状態に戻る。しかし、この様子は石鹸のような界面活性剤分子（両親媒性分子とも言う）で油を乳化させていた従来形の粒子現象と全く異なる。界面活性剤のエマルションは単分子膜で油滴粒子間の安定性を保持している。そのため、ドロドロな赤血球のように集まってしまうと油滴粒子は直ぐに融合をして大きな液滴になってしまう。このため、界面活性剤のエマルションは粒子状態が大きくなり、結果として油相と水相に分離してしまう。そこで、私は親水性の生体二分子膜状態で油を安定に乳化させることができないのであろうかと直感的にイメージした。親水性の二分子膜粒子が油水界面に付着固定することができるとはまだ誰も考えていなかったし試みもされてい

なかった。

レシチンなどのリン脂質は水に溶けないために、水中で自己組織体の一種である閉鎖小胞体（ベシクルと呼ばれる）を形成する。中空で直径が20~50 nm程の親水性の球状粒子になる。このベシクルの内相に医薬品を封入させることによって薬物運搬体（Drug Delivery System）として現在でもその医薬品への応用研究が盛んに行われている。所で、私はNIHから戻り、1994年頃から研究室の今井洋子さんと共に学生達とリン脂質の生体膜物性の研究をすることにした。リン脂質生体膜と油脂との相互作用と安定化はそのまま「三相乳化」という大きな開発研究のゴールに至る道に繋がるとはまだ全くその時点では気付いていなかった。共同研究者の帝京大学の越沼征勝先生、名古屋市立大学の中村昭雄先生を交えて、今井洋子さんと4人で合宿をしたり、相互訪問をしたり、数年に亘ってESR, XRD, DLS, TG/DTA, 固体NMR, SEMなど多くの研究手段によって得られた現象について、データーを一つひとつ積み重ね解析をしていた。

多くの現象が解析されたと思うとまたその先が見えなくなることも多々あった。1グラムがウン万円もするような合成リン脂質（輸入品）を5グラム、10グラムと使って脂質に対する油脂の可溶性状態を徹底的に研究を重ねていった。ある輸入商社から日本に輸入するある種の合成リン脂質の9割は神大が使用していると言われたことがあった。でも幸いにして、これらの研究は多くの学術論文として発表をただけでなく、日本油化学会から学会賞を受けることができた。

そして、1997年頃であった。私はこのとき発想を逆転させて、親水性ナノ粒子が疎水性油滴表面に付着固定させることができるのであれば、油滴は水中で安定化されるはずであり、新しい乳化状態が作れると推測した。ベシクルを用いて親水性の自己組織体が水中の油滴表面に付着固定化が起こる乳化法は誰も考えが及ばないことであつた。前述したNIHのProf. Norman Gershfeldに教えていただいた夜空に星座を描くような感じが直感的に閃いたことを今でも忘れることができない。リン脂質の二分子膜状のベシクルナノ粒子は工業的エマルション形成に応用ができるのではないかと気づき検討を始めた。しかも、ナノ粒子の物性化学である「コロイド化学」の理論からはナノ粒子の表面への付着を理論的に予測することができていた。ただそれは、微粒子が水中で不安定化して互いに「凝集」をしてしまい、微粒子分散系が大きな固まりになってしまい、沈降する時に起こる作用力として理解されていた。

大地にリングが万有引力によって引きつけられるように、ナノ粒子とミクロンサイズの油滴粒子間にはファンデルワールス引力が作用することが判っている。一方、静電的斥力や構造的斥力も同時に働くが、引力が勝る条件が可能であれば、ナノ粒子は図1のように油表面に付着固定されうると理論的に予測された。そして、日夜この理論の予測の基で乳化系の研究を続けた。また、その一方では理論的予測モデルが実際に起きているかどうかを調べるために電子顕微鏡で随分いろいろ工夫を凝らして、多くの乳化系について観察を行った。そして、ついに電子顕微鏡でその乳化状態(写真1)を実際に観察することができた。電子顕微鏡の写真は撮るのに大変困難であった。しかし、予測通りの写真が撮れたときは本当に嬉しかった。さらに一方では、リン脂質のような高価な薬剤ではなく、モット安価な硬化ひまし油誘導体でも同様のベシクルを水中で形成することを我々はすでに先の研究で発見していた。そこで、リン脂質より何百分の1も安価な「硬化ひまし油誘導体」でも乳化が可能になることを見出した。従って、乳化粒子は大地にリン

ゴも落ちれば、ナシも落ちるようにナノ粒子の化学種には依らない現象であることを実験的に証明したことになる。このような現象は三相乳化の基本的物性であり、特許庁の調査官も大変強い関心を示してくれた。そして、特許の内容も物質ではなく乳化の作用力という概念で承認してくれた。

さて、学生教育としての講義や研究指導でも同じである。個々の学生が本来持っている自己の知識がどのような資質であるのか。その資質を掘り当ててそこから新しい専門的な知識を付与していかないと、決して学生のための教育や研究指導をしていることにならない。学生達と我々との間に、互いに自由に議論ができるような雰囲気と人間関係を如何に構築するかに随分心掛けてきた。例えば、富士見研修所にも毎年研究室で3-4泊のゼミ合宿で春・夏の2回、それに大学院合宿として北里大 岩橋ゼミ、武蔵工大 小林・高橋ゼミ、慶応大 小山内・朝倉ゼミ、東理大 河合ゼミなどの大学院生間のゼミ合宿「尾花の会」も行い、学問研究のみならず人格の向上にも心掛けた。これが学生を教え育てる事の本質であると思っている。

富士見研修所は学生時代に登攀した南アルプスの山脈<sup>やまのみ</sup>を眼前に望み、背に八ヶ岳の霊峰を抱く富士見高原は雑音の都会での疲れを癒してくれる大変素晴らしいところである。合宿ではつつい開放的になり、学生には負けたくないで時には2時3時まで杯を交わし、学生には迷惑だったかも知れないが、人生観や初恋の話など楽しい場がいつもあった。管理人の伏見さんには先代から随分とご厄介になった。研修所の皆さんからの暖かい歓迎のお陰で、学生達にも研修所でのゼミは忘れることのできない学生時代の良い思い出になったと思う。

我々の研究室で開発をした「三相乳化法」が実用に要せる形として社会に発表したのはテクニカルショウヨコハマに本学の産学連携推進室から出展依頼を受けた2002年2月であったと思う。その時、「界面活性剤を使用せずに三相乳化法はどんな油剤でも安定に乳化することができる新規な乳化技術」ということで、会場での来訪者は大変な関心を持たれ、展示ブースには人が一杯であった。特に、シリコン油や炭化フッ素油を始め、石油系油剤や植物油がたった1種類のナノ粒子で安定に乳化させることができるという夢のような乳化技術のため、大変強く関心を持ってもらえた。それは、界面活性剤による乳化技術しかない現状では寧ろ不思議な現象であると思えないからであった。

一方、「三相乳化法」を本学の産学連携推進室から特許申請する際、理事会も我々の研究内容に大変高い関心

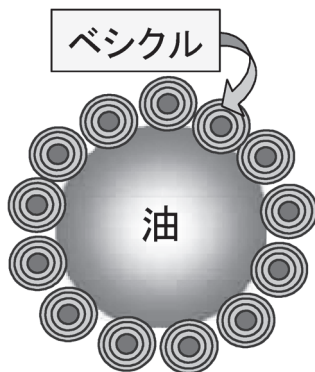


図1 理論的予測モデル

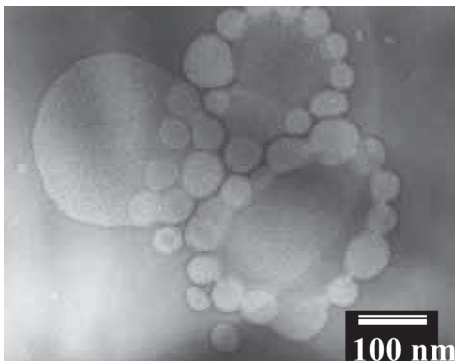


写真1 電子顕微鏡によるエマルション粒子



写真2 産学連携プロジェクト記者発表会の光景  
理事長の挨拶、学長、常務理事、工学部長が同席

を持っていただき、数回に亘り報告説明をした。その内容は「環境適応型の乳化技術で、エマルジョン燃料、化粧品、農薬、潤滑など」、極めて多岐に応用が可能な基本的な乳化概念であった。特に、エマルジョン燃料は従来の界面活性剤型と全く異なるので、大学が実用化に向けての開発研究に取り込むことを推進してくれた。そのため他企業との連携を必要とするので、2004年7月に、大学内に「三相乳化開発プロジェクト」を作った。大手企業の協力の下で、積極的にエマルジョン燃料の調製、性能、燃焼性などについての研究データを重ねた。この時期は大変多忙で、学会活動で地方に出張中でも、またゼミで富士見の研修所にも何回となく大学から緊急の電話があり、それに対応をしたことが今は懐かしく笑い話として思い出される。

幸いにして、これらの努力は2006年7月12日に、理事長、学長、工学部長、さらに協力企業も参列して、公開実験を入れて「大学として」プレスリリースをすることができた(写真2)。また、その年の8月には学内外の方々に向けて一般公開の講演会も行い、「三相乳化法」の特徴を報告をした。NHKやTVKテレビのニュース、NHK国際ラジオ、さらに新聞・雑誌などで記事として大変多くのメディアで報道してくれた。お陰で国内外からの社会的反響も大変大きく、その対応の時間に益々追われる日々が続くことになった。

そして、ついに2007年8月6日に、神奈川大学は大学の会社として「未来環境テクノロジー(株)」を設立した。いよいよ大学が開発した環境適応型技術として実用化に向けて社会に漕ぎ出すことになった。図2は将来への発展を期待する成長を表すシンボルマークである。

今年の8月19日、新会社の海外初仕事として韓国で



図2 大学が設立した会社のシンボルマーク

C重油エマルジョンの燃焼テストに出かけていた。丁度その翌日にFM横浜から、朝8時30分から「ナマ放送」で神奈川大学の会社設立の目的とエマルジョン燃料が如何に環境適応型燃料であるかについてインタビューの依頼があった。私は韓国・ソウルで自動車の中から携帯電話で、小林(孝)、田口、今井の諸氏に囲まれた中で、幾分上ずった声で応対した。そして、私は神奈川大学が如何に地球環境の保全と温暖化防止に努力しているかを強調した。これらも今となっては大変楽しかった思い出である。

科学技術は企業で実際に携わっている研究者や現場の人たちがその新規な技術の有用性について判断すべきであって、決して直接関わりのない人たちにはその技術の優劣の判断はできるものではない。しかし、神奈川大学の一研究室がオリジナルな科学的発明として提出した三相乳化技術を大学は積極的に支援し、大きく育ててくれた。その上、JSTやNEDOからの呼びかけも度々あったが、三相乳化法およびエマルジョン燃料の基本特許は大学で全て知財権を確保するという観点から現在まで大

学の管理下で守ってくれている。神奈川大学が研究の推進に全面的に支援をしてくれたことは我々にとって幾倍もの力となっている。私が前に居た大学（63歳停年）ではもうとっくに停年となっている歳である。その時が過ぎてからでもまだ研究の自由とチャンスを与えてくれて、日々研究に携わっていられることに、私は神奈川大学に心より感謝申し上げる。それと同時に、研究・教育を一つの形になる最後まで、大学がご支援をして下さっていることは本当に腹心より「神奈川大学に来てよかった」と実感する次第である。研究の成果で学術論文を書くことは楽しい。学会で報告するのも楽しい。だが、オリジナルな研究の特許化するために研究情報が漏洩しないように機密にしておくことは、研究者としてまた大学人として大変苦しいことでもあった。しかし、これらもまた貴重な体験で人生を豊かにしてくれるための社会的教育として喜んでいる。

最後に、私は次の3点を「三相乳化法」の考え方ができるまでに思った。それは① 持続力。昔は「石の上にも3年」で済んだかも知れてないが、私には10年もの研鑽が必要であった。② 執着力。技術の完成に向けて内発的目標と外発的評価が必要である。失敗や無駄道が進歩や発展のチャンスを作ってくれた。③ 想像力。空の星から雄大な星座を冥想するように、自然現象のハイブリット化に依る新規性の想像であり、追従の忌避を忘れないことである。

鯨に骨なし、海鼠に目なし。それでも活発に動いている。自分の学生もあつと少ない。

だけどやれることには頑張りたい。

**謝辞** 本稿を書き終えるに当たり、長いこと研究推進のためにご協力をして下された学校法人神奈川大学の関係者、教職員御一同様並びに研究で苦楽を共にしてきた今井洋子女史を初めとする研究室の関係各位に心より感謝申し上げます。また、研究推進に快くご協力下された関係企業の皆様方にも深く御礼を申し上げます。

**後書き**：2007年10月19日 神奈川県松沢成文知事が環境対応型「エマルジョン燃料」の技術開発視察のため、神奈川大学が設立した未来環境テクノロジー（株）に来訪。